

# 論文審査の結果の要旨

氏名 雨宮 隆

本論文では、使用済み自動車破砕屑 (ASR) の再資源化と有効利用を志向する最近の実用化技術の一つとして、ASR 熱分解ガス化プロセスを用いたリサイクルシステム (熱分解ガス化システム) に注目し、本システムが社会的にもたらす CO<sub>2</sub> 排出量やエネルギー消費量などの環境負荷の削減効果を、LCA の手法により明らかにすることを第一の目的としている。さらに、このように環境負荷性能に優れたリサイクルシステムは温暖化対策上からも社会での普及が望まれるところだが、このようなリサイクル事業は投資家や事業家にとっては投資額も大きく、また再資源化金属類の販売収入が市場変動に左右されるリスクを有するという事業の特性から、その事業性 (投資回収効果) が十分評価できなければ普及が進まないという問題がある。そこで本論文においては、本システムを用いるリサイクル事業への投資意思決定の判断基準とそれに対する影響要因を、金融工学で用いるリアルオプション解析の手法を応用して明らかにし、投資促進のための施策を提示することを第二の目的としている。

以下に各章の要旨を示す。

第1章では、論文の目的と構成を述べている。

第2章では、本研究の背景として、ASR リサイクルにおける諸問題を概観し、ASR の適正なリサイクルを目指した自動車リサイクル法の整備に至る経緯を明らかにするとともに、各種の従来型の ASR リサイクル技術の中で、リサイクル性に優れた ASR 熱分解ガス化システムの位置づけを議論している。

第3章では、学位申請者が過去に開発に携わった、都市ごみを対象とする実証用熱分解ガス化システムの開発経緯と、さらにその成果を用いて実用化した商用型 60t/day 規模の ASR 熱分解ガス化システムの特性を実際の運転データを基に詳細に説明している。

第4章では、本論文の第一の主題として、ASR 熱分解ガス化システムに関する詳細な LCA を実施している。具体的には、ASR 1 トン当たりの処理に伴い発生する、社会的な生産波及を含む直接的・間接的な CO<sub>2</sub> 排出量とエネルギー消費量 (いずれも、マイナス値の場合は削減量を意味する) を算定し、他の従来型熱処理システムとの比較を行なっている。

本 LCA の結果によれば、ASR 熱分解ガス化システムの代表的な事例において、ASR 単位処理量 (1t) 当たりの全 CO<sub>2</sub> 排出量はほぼゼロに近い負値となる。すなわち本システムを用いて、レベルの高い ASR のリサイクルを行えば、社会的に CO<sub>2</sub> を増加させな

いばかりか、従来型の熱処理方法である ASR の単純焼却システムの場合と比べると、ASR 1t 当たり約 1200 kg-CO<sub>2</sub> もの CO<sub>2</sub> の排出量の削減となる。また、エネルギー消費量は ASR 処理量 1t 当たり約 -2,900Mcal と大きなマイナス値であり、ASR を処理するほど社会的なエネルギー節約に貢献するという結果が示されている。このように CO<sub>2</sub> 排出量とエネルギー消費量の削減効果が大きいのは、ASR を処理して得られる生産物のリサイクル利用により市場製品の代替を行うことで、間接的な環境負荷の削減効果が高い値で得られるためであり、とくに、ASR に含まれる主要金属分（鉄、銅、アルミ）の回収率を高め、その回収物のリサイクル率を高めること、およびガスエネルギーの利用率を高めることが、環境負荷の大きな削減効果に結びつくとしている。

さらに、従来型の他の ASR 熱処理システム（ASR 単純焼却システム、ASR ガス化溶解システム、ASR 直接溶解システム、全部再資源化（A プレスの電炉投入））との比較を行なった結果では、やはり ASR 熱分解ガス化システムの高度リサイクルケースが CO<sub>2</sub> 排出量およびエネルギー消費量が最も小さく、社会的な環境負荷のインパクトは最も小さいことが明らかにされた。ただし、熱分解ガス化システムの長所を生かすためには、金属やエネルギーのリサイクルの割合を高いレベルに維持する工夫が重要であるとの結論が導かれている。

第 5 章では、本論文の第二の主題として、ASR 熱分解ガス化システムを用いるリサイクル事業への投資意思決定の判断基準とそれに対する影響要因を明らかにし、投資促進のための諸施策を提示している。

このような ASR リサイクル事業では、再資源化金属類の販売収入が現実のスクラップ金属市況の不確定変動に左右され事業リスクとなるため、これを考慮した事業性の評価を行うことが重要である。そのために、実際の鉄、銅、アルミのスクラップ市場価格のトレンドデータ（2007 年以前の 10 年間）の月間変動率の頻度分布を調べこれがほぼ正規分布に従うとみなされることから、スクラップ金属の時間的価格変動を幾何ブラウン運動で模擬する確率変動モデル式を作成している。さらに実際のシステム運用データに基づく収益・コスト条件のもとでこのモデルを組み込んだキャッシュフローの変化を、モンテカルロ・シミュレーションにより計算し、その結果を基にして、二項格子法を用いたリアルオプション解析による一連の事業評価検討を行なっている。

このリアルオプション解析では、事業期間（ここでは 5 年間と設定）に亘る経常利益の累積額の期待値  $V_0$  の不確定変動に対し、現時点における「投資実行オプション」の価値と、投資を延期する「投資保有オプション」の価値が等しくなるような投資額の値を算出し、これを「投資上限臨界値  $I^*$ 」と定義している。事業への投資額  $I$  が  $I < I^*$  を満たせば、現時点で直ちに初期投資および事業開始を行なうことが有利となり、早期の投資が促進されることになる。逆に  $I > I^*$  であると投資は延期されるという判断になる。したがって、 $I^*$  をできるだけ高めるための条件を明確にすることが重要であり、本章においては  $I^*$  に対するシステムの資源リサイクル率や投資設備費単価などの各パラメータの影響を明らかにしている。

また、第 4 章で論じたように、ASR 熱分解ガス化システムは CO<sub>2</sub> 排出量削減効果に優れ温暖化対策上の利点があることから、この CO<sub>2</sub> 削減量を CO<sub>2</sub> クレジットとして金額的

に評価できた場合は、投資意思決定の促進の効果をもたらすことを明らかにしている。

さらに、ASR 処理委託費単価の政策的設定（自動車リサイクル法の枠組みの中で行なわれる）の観点からは、高い  $I^*$  を維持し早期の事業投資を促進するという意味で、処理委託費単価を事業期間に亘り固定額とするか、または事業者に前もって予告されたレートで次第に低下させていくという設定が有効であることを明らかにしている。ただし、リアルオプション解析の結果として高い投資上限臨界値  $I^*$  が算出されたとしても、事業家から見た投資利益率が所定の期待水準を下回る場合は、この事業は魅力のある事業とは言えなくなり投資の実行は断念されることになることと論じている。

第6章では、本論文の結論を提示している。

すなわち、本論文では、熱分解ガス化システムの LCA により、他の ASR の熱的処理システムに比べ  $\text{CO}_2$  排出量およびエネルギー消費量が最も小さく、社会的な環境負荷のインパクトが小さいという優れた特性が明らかにされた。また、ASR リサイクル事業において、どのようなパラメータ条件であれば現時点での投資実行が選択され、事業への早期の投資が促進されるかが明らかにされた。とくに、このような  $\text{CO}_2$  排出量削減効果が大きいシステムにおいて  $\text{CO}_2$  クレジットが獲得できるのであれば事業の経済性が改善され、金属価格リスクを有する場合でも優れたリサイクル事業への投資が促進されると考えられることから、 $\text{CO}_2$  排出量削減効果に対する  $\text{CO}_2$  クレジットを付与することを社会的仕組みとして推進すべきと提言している。また、自動車リサイクル法の枠組みの中で早期の事業投資を促進するために執り得る政策としては、ASR 処理委託費単価を事業期間に亘り固定額とするか、またはあらかじめ事業者に明示されたレートで次第に低下させていくという設定手法が効果を有すると提言している。

ASR のような廃棄物を対象とし、かつ再資源化物の価格変動に左右される収益上のリスクを有するといったリサイクル事業の事業性評価をリアルオプションで検討した報告は、これまであまり例がなく、本論文は ASR リサイクル事業への投資という課題に新しい視点と手法で取り組んだという点で非常に独創的な研究である。

この研究で開発し適用した事業性評価のための一連のリアルオプション解析のプロセスと評価方法は、ASR に限らず他の廃棄物リサイクル事業の検討においても応用できるものであり、投資家および事業者がより合理的な判断の基に事業の選定と投資決定を行ない、その結果として、社会において環境性に優れたリサイクル事業の促進に資することができるという意味で、非常に有益な環境学的研究である。

したがって、博士（環境学）の学位を授与できると認める。